

PENDANGKALAN SALURAN DRAINASE KOTA AKIBAT ANGKUTAN SEDIMEN, EROSI LAHAN DAN DEKOMPOSISI LIMBAH PADAT BASAH

AGGRADATION OF URBAN DRAINAGE CHANNELS DUE TO SEDIMENT TRANSPORT, SHEET EROSION AND DECOMPOSITION OF WET SOLID WASTE

Saptarita Kusumawati¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS

Abstrak

Pendangkalan saluran drainase kota dapat terjadi akibat angkutan sedimen di saluran S_q , erosi lahan dari daerah pematusan saluran S_e , dan dekomposisi limbah padat basah yang masuk ke saluran S_d . Rumusan besarnya pendangkalan saluran adalah $S = S_q + S_e + S_d$, masing-masing menggunakan rumusan dari Engelund dan Hansen, rumusan Universal Soil Loss Equation (USLE) dari Wischmeier dan Smith, dan Marsudiantoro dan Soeryantoro. Hasil yang didapatkan bahwa angkutan sedimen dan erosi memberikan kontribusi yang sangat kecil (masing-masing 5,39% dan 7,45%), sedangkan dekomposisi limbah memberikan kontribusi yang sangat besar yaitu 87,16%.

Kata kunci : angkutan sedimen, drainase kota, erosi, pendangkalan

Abstract

Aggradation of the urban drainage channels caused by sediment transport discharge from upstream S_q , sheet erosion from catchment area S_e , and decomposition of domestic solid wastes entering to the channel S_d . Formulation for the aggradation is $S = S_q + S_e + S_d$. Each is from Engelund and Hansen, formulation of the Universal Soil Loss Equation (USLE) from Wischmeier and Smith, and Marsudiantoro and Soeryantoro. From the result, the influence of sediment transport and sheet erosion to aggradation process of channel are small (5,39% and 7,45%), while the most part of aggradation came from solid waste's decomposition (87,16%).

Keywords : sediment transport, urban drainage, erosion, aggradation

1. PENDAHULUAN

Saluran drainase di perkotaan besar, seperti di kota Surabaya, memerlukan perawatan yang intensif untuk menjaga kedalamannya agar tetap terjaga dan terhindar dari pendangkalan. Pendangkalan saluran ini akan mengakibatkan kapasitas mengalirkan air buangan menjadi berkurang. Erosi pada permukaan tanah pada daerah pematusan (*catchment area*), yang akan menjadi agregat sedimen dan terbawa oleh aliran air, sangat mempengaruhi terjadinya pendangkalan saluran drainase yang ada tersebut. Selain akibat erosi, pendangkalan saluran dipengaruhi juga oleh peristiwa dekomposisi buangan limbah hasil kegiatan manusia yang dapat berupa limbah padat (sampah), cair dan gas (Marsudiantoro dan Soeryantoro, 1998).

Permasalahan yang sering terjadi pada saluran drainase adalah laju pengendapan sedimen yang mengakibatkan pendangkalan pada saluran dan dapat memperkecil kapasitas saluran dalam mengalirkan air hujan. Sumber sedimen itu sendiri terdiri atas 3 (tiga) hal yaitu angkutan sedimen yang terbawa oleh debit aliran dari hulu saluran, erosi lahan yang terjadi di sekitar saluran, dan dekomposisi limbah padat basah.

Pada makalah ini, selain membahas pendekatan teori dari ketiga hal tersebut, ditunjukkan pula hasil pengamatan dan perhitungan yang telah dilakukan pada saluran-saluran yang berada pada daerah Medokan yang berada di Wilayah Semolowaru dan Wilayah Medokan Semampir, Kecamatan Sukolilo, Kota Surabaya.

Kekhawatiran kurang berfungsinya saluran-saluran drainase kota, dengan berkurangnya kapasitas debit akibat sedimentasi di dasar saluran telah diteliti oleh Kusumawati dkk (1997). Dari penelitian tersebut disimpulkan bahwa rumusan dari Englund dan Hansen paling tepat untuk digunakan di saluran drainase kota. Hasil analisa menunjukkan bahwa sisa kapasitas tinggal 26%, atau terjadi pengendapan 74% dari kapasitas saluran. Konfirmasi melalui pengukuran di lapangan didapatkan terjadinya pengendapan sebesar 69,06% dari kapasitas saluran, atau selisih 3,94% dari analisa menggunakan perhitungan.

Morgan (1995), memberikan pembahasan tentang pemodelan erosi dari tiga penelitian terdahulu yaitu cara kotak hitam (*black box*) dari, cara rumusan kehilangan tanah unversal (*Universal Soil Loss Equation – USLE*) dari, dan cara rumusan kehilangan tanah di Afrika Selatan (*Soil Loss Estimator for Southern Africa – SLEMSA*). Dari ketiga cara tersebut, Kusumawati (1999) menyarankan bahwa untuk daerah perkotaan di Indonesia lebih sesuai menggunakan rumusan USLE yang dapat dilihat pada Persamaan 1 berikut ini.

$$E = R.K.L.S.C.P \tag{1}$$

Dimana :

- E* : kehilangan tanah rata-rata tahunan
- R* : faktor erosivitas hujan
- K* : faktor erodibilitas tanah
- L* : faktor jarak
- S* : kemiringan permukaan tanah
- C* : faktor pengelolaan tanaman
- P* : faktor usaha pengendalian erosi

Penelitian pendugaan laju pasokan sedimen yang berasal dari DAS berkepadatan penduduk tinggi di Jakarta telah dilakukan oleh Marsudiantoro dan Soeryantoro (1998). Dikemukakan bahwa di Jakarta Utara, dimana sungai-sungai yang menuju ke Teluk Jakarta, mengangkut sedimen yang berasal dari erosi DAS berkepadatan penduduk tinggi. Sedimen yang tersuspensi di air sungai, berdasarkan materinya, dapat dibagi menjadi sedimen anorganik dan organik. Sedimen anorganik berasal dari tanah mineral hasil erosi permukaan DAS oleh hujan, sedangkan sedimen organik, dibagi menjadi sedimen yang berasal dari erosi lapisan humus di kawasan DAS dan sedimen yang berasal dari dekomposisi limbah padat dan cair. Konseptualisasi proses akumulasi sedimen sungai dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi Karakteristik Bahan Sedimen

Material Asal	Jenis Sedimen		Mekanisme Erosi
	Organik	An organik	
A. Dari kawasan non-urban :			
1. Lapisan tanah mineral	-	/	/
2. Lapisan humus	/	-	/
B. Dari kawasan urban :			
1. Limbah organik cair	/	-	-
2. Sampah padat lembut	-	/	/
3. Sampah padat basah terdekomposisi di permukaan tanah	/	-	-
4. Sampah padat basah terdekomposisi di sungai	/	-	-

Sumber : Marsudiantoro dan Soeryantoro, 1998

Sumbangan sedimen kawasan urban dirumuskan akibat besarnya erosi permukaan bahan anorganik (Q_{sa}) dan bahan organik humus (Q_{soh}) ditambah dengan hasil proses dekomposisi di sungai akibat limbah sampah padat basah (Q_{sob}), pada Persamaan 2.

$$Q_{s-total} = Q_{sa} + Q_{soh} + Q_{sob} \tag{2}$$

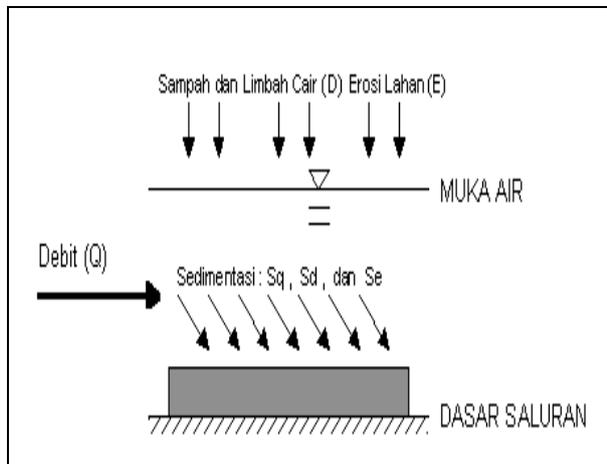
Jumlah gabungan hasil erosi lapisan anorganik (Q_{sa}) dan organik humus (Q_{soh}) sama dengan besarnya erosi lahan (E) dengan menggunakan rumusan dari USLE seperti ditunjukkan pada Persamaan 1.

Sedangkan sedimen akibat dekomposisi limbah sampah basah merupakan hasil kali antara jumlah penduduk (P) dengan hasil kali antara koefisien-koefisien produksi sampah per kapita (p), fraksi sampah padat basah (C_{pb}), sampah tak terkelola sebagai indeks pengelolaan sampah (C_M) dan indeks dekomposisi transformasi volume sampah padat menjadi masa sedimen di sungai (α) dan koefisien sampah terdekomposisi (C_s), dirumuskan pada Persamaan 3. Uji coba untuk model ini telah dilakukan pada sistem drainase Cengkareng Drain.

$$Q_{sob} = P.p.C_{pb}.C_M.\alpha.C_s \tag{3}$$

Seperti telah dijelaskan pada paragraf sebelumnya, bahwa proses pendangkalan saluran drainase perkotaan terjadi akibat dua macam proses, yaitu secara mekanik dan secara kimia. Cara mekanik ditunjukkan dengan adanya dua sumber sedimen yaitu angkutan sedimen dan erosi lahan, sedangkan cara kimia ditunjukkan dengan sumber sedimen yang berasal dari limbah padat basah yang telah mengalami dekomposisi (Yang, 1996).

Gambar 1 menunjukkan bahwa sedimentasi di saluran berasal dari 3 sumber, yaitu angkutan sedimen dari hulu saluran yang terbawa oleh debit, erosi lahan, dan dekomposisi limbah padat basah.



Gambar 1. Model Sumber Sedimen Di Saluran

Untuk lebih jelasnya, kontribusi sumber sedimen tersebut dapat dinyatakan dengan Persamaan 4 berikut ini.

$$S = S_q + S_e + S_d \quad (4)$$

dimana S adalah jumlah total endapan yang terjadi, S_q adalah endapan yang terjadi akibat angkutan sedimen dari hulu saluran yang terbawa oleh debit, S_e adalah endapan yang merupakan kontribusi erosi lahan, dan S_d adalah endapan yang berasal dari sampah organik basah melalui proses dekomposisi atau sama dengan Q_{sob} menurut Persamaan 3.

Besarnya endapan akibat angkutan sedimen (S_q) dihitung oleh Kusumawati dkk (1997) dengan menggunakan cara *Engelund & Hansen* (EH). Perhitungan erosi lahan dilakukan menggunakan persamaan kehilangan tanah dari model USLE. Sedangkan endapan akibat dekomposisi limbah padat basah dihitung menggunakan rumusan pada model DAS Jakarta yang dilakukan oleh Marsudiantoro dan Soeryantoro (1998) dari Persamaan 3.

2. GAMBARAN UMUM WILAYAH STUDI

Telah dilakukan pengamatan lapangan oleh Kusumawati (1999) dengan kasus di Saluran Medokan yang berada di 4 (empat) kelurahan yaitu Kelurahan Bharata Jaya, Menur Pumpungan, Nginden Jangkungan, dan Medokan Semampir. Semuanya di Kecamatan Sukolilo kecuali Bharata Jaya yang berada di Kecamatan Gubeng, Surabaya. Peta yang

digunakan adalah Peta Administrasi Kotamadya Dati II Surabaya, skala 1:40.000, diterbitkan oleh Dinas Tata Kota Daerah Kotamadya Dati II Surabaya tahun 1986.

Data tentang luas kelurahan, jumlah penduduk dan kepadatan penduduk dengan menggunakan data dari sensus penduduk tahun 1995. Data menunjukkan bahwa lahan terbangun menempati 64% dari luas total 4 kelurahan (371 Ha dari 580 Ha), sisanya adalah lahan terbuka termasuk areal pemukiman seluas 209 Ha. Dengan jumlah total penduduk 33.604 orang maka lokasi studi mempunyai kepadatan penduduk bruto 58 orang/Ha atau kepadatan penduduk pada areal pemukiman 115 orang/Ha.

Pengaruh sedimentasi di saluran akibat erosi lahan sangat dipengaruhi oleh besarnya curah hujan yang terjadi di sekitar saluran yang merupakan daerah pematusan (*catchment area*) dari saluran tersebut. Curah hujan yang terjadi di daerah pematusan saluran Medokan (lokasi penelitian) dapat diwakili oleh stasiun hujan Keputih dengan data selama 8 tahun (1981 s/d 1988). Musim penghujan di Surabaya umumnya terjadi pada bulan Desember hingga Mei dengan jumlah curah hujan selama musim (6 bulan) rata-rata 1597 mm, sedangkan musim kemarau terjadi pada bulan Juni sampai dengan Nopember dengan jumlah hujan selama musim kemarau rata-rata 265 mm (Suharjoko, 1992).

Pengamatan jenis tanah humus di permukaan di daerah pematusan saluran dilakukan dengan pengambilan contoh (*sample*) tanah pada 6 lokasi di sepanjang saluran pada bulan Juli 1999. Hasil pengamatan laboratorium memberikan gambaran tentang gradasi butiran tanah dan secara umum terdiri atas pasir halus (diameter kurang dari 0,297 mm), pasir kasar (diameter antara 0,297 mm s/d 2,380 mm) dan kerikil halus (diameter antara 2,38 mm s/d 12,70 mm) dengan komposisi berturut-turut 38,60%, 36,46% dan 24,94%.

Pengamatan sedimen layang (*suspended sediment*) pada saluran dilakukan dengan pengambilan contoh (*sample*) air pada bulan Juli 1999, dari 6 penampang saluran yang mewakili kondisi sepanjang saluran. Hasil dari pengamatan laboratorium menunjukkan bahwa kadar sedimen layang di saluran berkisar antara 1,11 ppt s/d 27,33 ppt, atau rata-rata 6,72 ppt. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan satuan ppt adalah bagian per seribu (*part per thousand*) atau sama dengan gr/l (*gram per liter*).

Pengamatan visual sedimen dasar saluran telah dilakukan oleh Kusumawati (1988), di 6 lokasi, dengan melihat jenis kotoran sampah yang ada di saluran.

Menurut Kusumawati dkk (1997), saluran mempunyai perbedaan tinggi 0,80 m pada jarak 4,070 km dengan demikian saluran mempunyai kemiringan 0,0002. Disamping itu, dilakukan pula pengukuran penampang melintang saluran pada enam lokasi dengan hasil bahwa lebar saluran berkisar antara 3,90 m s/d 6,00 m, dengan kedalaman saluran berkisar antara 0,94 m s/d 1,70 m, sedangkan kemiringan talud berkisar antara 1 : 2 s/d 1 : 6.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Saluran Medokan yang diamati meliputi ruas dari Jembatan di Jl. Manyar hingga dekat Perumahan Araya Bumi Permai dengan jarak total 4070 meter, lebar rata-rata 4,50 meter dan kedalaman 1,20 meter (120 cm). Dengan anggapan tinggi jagaan 40 cm maka kedalaman air (kapasitas endapan) menjadi 80 cm. Kapasitas basah seluruh saluran menjadi $4070 \times 4,50 \times 0,80 = 14652 \text{ m}^3$. Kapasitas ini diperlukan untuk mengalirkan air hujan, dan dapat berkurang karena pendangkalan.

Pendangkalan saluran Medokan akibat angkutan sedimen telah dihitung oleh Kusumawati dkk (1997), bahwa dengan perhitungan cara *Engelund* dan *Hansen* atau disingkat EH untuk ruas antara Jembatan Nginden (Terminal Bratang) sampai dengan Perumahan Araya dengan jarak 2.759 meter dan lebar rata-rata 4,5 meter mendapatkan volume endapan yang dihitung dalam satu musim hujan dengan konsep gaya sehingga memberikan hasil angkutan total (*total load*), menghasilkan endapan sebesar $53,13 \text{ m}^3$ per musim hujan. Perhitungan kapasitas saluran yang dilakukan saat itu adalah 3,7 km mulai dari Jembatan Nginden sampai dengan pompa air di Sungai Jagir. Kecepatan pendangkalan yang dinyatakan dalam ketebalan sedimen seperti tampak pada Persamaan 5

$$h_s = (53,13 \times 1000) / (3700 \times 4,5) \\ = 3,2 \text{ mm/siklus/musim} \quad (5)$$

Pada ruas saluran yang diteliti yaitu mulai dari Jembatan Manyar sampai dengan dekat Perumahan Araya Bumi Permai melalui Perempatan Nginden, dengan panjang saluran 4,07 km memberikan hasil

bahwa pendangkalan saluran yang terjadi sebesar $113,48 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Perhitungan pendangkalan akibat erosi lahan dihitung dengan cara USLE menggunakan Persamaan 2. Data di daerah pematusan saluran Medokan, dengan curah hujan tahunan 1.862 mm memberikan besaran angka erosivitas (*R*) sebesar 493,45. Jenis tanah yang mempunyai komposisi pasir halus, pasir kasar dan kerikil berturut-turut 38,60%, 36,46% dan 24,94% dengan menggunakan nomograph *Wischmeier*, memberikan angka erodibilitas (*K*) sebesar 0,3. Kondisi lapangan dengan kemiringan medan 0,02% memberikan besaran faktor kemiringan dan panjang lereng (*LS*) sebesar 0,0628. Sebagian besar lahan adalah perumahan dengan halaman yang rata-rata tertanami rumput (*prairie grass*) sehingga perkiraan pengelolaan tanaman *C* = 0,1 dan upaya penanggulangan erosi cukup baik dengan angka *P* = 0,6. Maka perhitungan erosi dengan Persamaan 1 menjadi Persamaan 6.

$$E = R K L S C P \\ = 493,45 \times 0,3 \times 0,0628 \times 0,1 \times 0,6 \\ = 0,558 \text{ ton/ha/tahun} \quad (6)$$

atau dengan perkiraan berat jenis tanah $1,65 \text{ ton/m}^3$ maka didapatkan Persamaan 7

$$E = 0,558 / 1,65 = 0,338 \text{ m}^3/\text{ha/tahun}. \quad (7)$$

Perhitungan untuk seluruh daerah pematusan (*catchment area*) saluran Medokan yang diteliti memberikan hasil pendangkalan akibat erosi sebesar $156,11 \text{ m}^3/\text{tahun}$.

Perhitungan pendangkalan saluran akibat dekomposisi dilakukan menggunakan rumusan model Jakarta (Marsudiantoro dan Soeryantoro, 1998) seperti pada Persamaan 3. Parameter yang dibutuhkan adalah jumlah penduduk, koefisien produksi sampah, fraksi sampah padat basah, sampah tak terkelola (sebagai indeks pengelolaan sampah). Indeks dekomposisi transformasi, dan koefisien sampah terdekomposisi.

Jumlah penduduk (*P*) di lokasi penelitian meliputi empat kelurahan yaitu terdiri dari kelurahan-kelurahan Bharata Jaya, Menur Pumpungan, Nginden Jangkungan dan Semolowaru berturut-turut 6782 jiwa, 16312 jiwa, 6757 jiwa, dan 3753 jiwa pada sensus penduduk 1995. Koefisien produksi sampah (*p*) di Surabaya adalah 3,2 liter/orang/hari (Suharjoko, 1992). Fraksi sampah padat basah (C_{pb}) ada-

lah 72% (Marsudiantoro dan Soeryantoro, 1998). Sampah yang diambil petugas sebesar 55,6 %, dengan demikian berarti sampah yang tidak dikelola sebagai indeks pengelolaan sampah (C_M) adalah sebesar 44,4 %. Indeks dekomposisi (α) adalah sebesar 75%, yang mengacu hubungan antara bahan organik yang terdekomposisi dengan kandungan BOD di air, sedangkan koefisien sampah terdekomposisi (C_s) adalah 26,3% (Marsudiantoro dan Soeryantoro, 1998). Untuk itu hitungan menurut Persamaan 3 menjadi Persamaan 8.

$$Q_{sob} = P \cdot p \cdot C_{pb} \cdot C_M \cdot \alpha \cdot C_s$$

$$= P \times (3,2 \times 10^{-3} \times 365) \times 0,72 \times 0,444 \times 0,75 \times 0,263$$

$$= 0,07365 \times P \text{ m}^3/\text{tahun} \quad (8)$$

Dengan demikian produksi dekomposisi limbah padat basah (sampah) memberikan kontribusi terhadap volume pendangkalan saluran sebanyak 1826,86 m³/tahun.

Dari perhitungan telah didapat bahwa masing-masing sumber sedimen memberikan kontribusi terhadap terjadinya endapan di saluran dengan komposisi fraksi seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Dekomposisi limbah padat basah memberikan kontribusi terbesar yaitu 87,13% dari total sedimen.

Tabel 2. Komposisi Sumber Pendangkalan Saluran

Sumber Material	Volume Material (m ³)	Prosentase dari Total (%)
Angkutan sedimen	113,48	5,42
Erosi lahan	156,11	7,45
Dekomposisi limbah	1825,86	87,13
Jumlah	2095,45	100,00

Gambaran mengenai pendangkalan saluran dapat dilihat volume sedimen per tahun akibat angkutan sedimen, erosi lahan dan dekomposisi limbah padat basah pada Tabel 3 dan tebal sedimen per tahun pada Tabel 4.

Tabel 3. Volume Sedimen Di Saluran

Ruas	Volume sedimen (m ³ /tahun)			Jumlah
	Angkutan sedimen	Erosi lahan	Dekomposisi limbah	
I	18,57	25,47	450,19	494,23
II	13,81	23,29	369,88	406,98
III	29,24	42,11	729,38	800,73
IV	22,44	32,62	138,21	193,27
V	29,42	32,62	138,21	200,25
Jumlah volume (m ³ /tahun)				2095,46

Dari Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4 tersebut dihasilkan hitungan bahwa pendangkalan total mencapai volume 2095,45 m³/tahun atau ketebalan 145 mm/tahun.

Tabel 4. Tebal sedimen di saluran

Ruas	Volume sedimen (m ³ /thn)	Panjang saluran (m)	Lebar dasar (m)	Tebal sedimen (mm/thn)
I	494,23	695,00	4,60	155
II	406,98	616,50	3,00	220
III	800,73	1075,00	3,10	240
IV	193,27	750,00	4,60	56
V	200,25	933,50	3,80	56
Tebal rata-rata sedimen (mm/tahun)				145

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Pendangkalan saluran drainase di kota besar, seperti Surabaya, disebabkan oleh tiga hal yaitu angkutan sedimen yang dibawa oleh debit air di saluran menghasilkan 113 m³/tahun atau ketebalan endapan rata-rata 7,8 mm/tahun, erosi lahan menghasilkan volume endapan sebesar 156 m³/tahun atau ketebalan endapan 10,8 mm/tahun. Serta dekomposisi limbah padat basah, dihitung menghasilkan volume endapan sebesar 1826 m³/tahun atau 126,4 mm/tahun. Hasil analisa keseluruhan menyatakan bahwa endapan saluran yang terjadi 2095 m³/tahun dengan komposisi penyebab yang berasal dari angkutan sedimen 113 m³/tahun (5,39%), dari erosi lahan (USLE) 156 m³/tahun (7,45%) dan dari dekomposisi limbah 1826 m³/tahun (87,16%). Sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab utama pendangkalan saluran drainase adalah akibat dekomposisi limbah padat basah (87,16%).

4.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba untuk diterapkan pada daerah atau saluran lain yang serupa. Penelitian lebih lanjut pada saluran yang sama dapat dilakukan dengan data yang lebih akurat terutama untuk data hujan dan data tata guna tanah yang lebih mutakhir. Sedangkan saran bagi pengelola saluran, dalam hal ini pihak kotamadya Surabaya, adalah mengingat kecepatan pendangkalan adalah 145 mm/tahun maka jadwal pengerukan saluran dilakukan setiap tahun. Atau bila dengan mengandalkan tinggi jagaan saluran 40 cm (400 mm), maka paling lama saluran harus dikeruk maksimal 3 tahun sekali karena akan mencapai ketebalan endapan 435 mm. Serta mengingat pendangkalan saluran paling banyak disebabkan oleh dekomposisi limbah sampah yaitu sebesar 87,16% , maka agar dapat diupayakan pengelolaan sampah yang baik lagi dalam arti pengambilan jumlah sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) ditingkatkan dari saat ini yang sebanyak 55,6 % dari sampah yang dihasilkan dari penduduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Kusumawati, S. (1988). **Studi Kemungkinan Menurunkan Salinitas Air Tanah di Surabaya Timur Melalui Penggunaan Kolam Resapan Buatan**. Laporan Penelitian. Puslit ITS. Surabaya.
- Kusumawati, S., Kuntjoro dan Suharjoko (1997). **Prediksi Pendangkalan pada Ex-Saluran Irigasi Medokan dalam Satu Siklus Musim**, Laporan Penelitian Lemlit ITS. Surabaya.
- Kusumawati, S. (1999). **Pendugaan Kontribusi Erosi Lahan Pematasan Padat Perumahan terhadap Pendangkalan Saluran Drainase dengan Studi Kasus di Saluran Medokan**. Laporan Penelitian. Lemlit ITS. Surabaya.
- Marsudiantoro, D.S.K. dan Soeryantoro, H. (1998). **Pendugaan Laju Pasokan Sedimen Yang Berasal dari DAS Berkepadatan Penduduk Tinggi**. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) ke-XV Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HAT-HI)*. Hal . 503-511. Bandung,
- Morgan, R.P.C. (1995). **Soil Erosion And Conservation**. 2nd edition, Longman Scientific & Technical, Burnt Mill, Essex, England.
- Suharjoko. (1992). **Pengaruh Pengaliran Air di Saluran Irigasi Kalibokor dan Semua Jaringannya Setelah Kepentinga Untuk Irigasi tidak Ada**. Laporan Penelitian. Puslit ITS. Surabaya.
- Yang, C.T. (1996). **Sediment Transport Theory and Practice** International Edition, McGraw-Hill Companies. Inc. New York.